

叶片振动监测系统采集装置

测试报告

时间：2023.10.24

文档状态：	文档编号	001
<input type="checkbox"/> 正式修改	被测件版本号	
<input type="checkbox"/> 经过评审	被测件完成时	
<input type="checkbox"/> 正式发布	间	

申明

这份文档包含了来自项目组的可靠、权威的信息，这些信息是作为公司的生产信息专用，文档的读者应对其内容保密，未经公司书面请求和书面认可，不得复制、泄露或散布这份文档。对这份文档内容的任何形式的泄露、复制或散布都是被禁止的。

目 录

1. 引言.....	4
1.1. 编写目的.....	4
2. 基本信息.....	5
2.1. 被测件版本.....	5
2.2. 重要变化.....	5
2.3. 测试设备及仪器.....	5
2.4. 辅助材料.....	5
3. 测试技术要求及原理.....	7
3.1. 技术要求.....	7
3.2. 测试原理.....	8
3.2.1. 与主控制器通信性能测试.....	8
3.2.2. 振动信号采集性能测试.....	9
3.2.3. 模拟量采样性能测试.....	9
3.2.4. 温度测量测试.....	9
3.2.5. 倾角输入性能测试.....	10
3.2.6. UART 通信性能测试.....	10
3.2.7. 软件整体稳定性测试.....	10
4. 测试结果.....	11
4.1. 与主控制器通信性能测试.....	11
4.1.1. 通信协议.....	11
66: 代表采样频率为 60000HZ.....	12
4.1.2. 通信速率测试.....	13

4.1.3. 测试结果.....	14
4.2. 振动信号采集性能测试.....	14
4.2.1. 采样率.....	14
4.2.2. 准确性.....	15
4.2.3. 测试结果.....	16
4.3. 模拟量采样性能测试.....	17
4.3.1. 准确性.....	17
4.3.2. 测试结果.....	18
4.4. 温度测量测试.....	18
4.4.1. 准确性.....	18
4.4.2. 测试结果.....	20
4.5. 倾角输入性能测试.....	20
4.5.1. 通信速率.....	20
4.5.2. 传输协议.....	21
4.5.3. 测试结果.....	21
4.6. UART 通信性能测试.....	21
4.6.1. 通信速率.....	22
4.6.2. 准确性.....	22
4.6.3. 测试结果.....	23
4.7. 软件整体稳定性测试.....	23
4.7.1. 测试结果.....	23
5. 测试人员签字.....	24

1. 引言

1.1. 编写目的

叶片振动监测系统采集装置是整个 BMS 系统中最基础的一环，该装置将通过相应传感器采集诸如转速、振动等信号。通过振动信号进行风机动力传输系统故障诊断，研究分析动力传输部件在正常运行和故障状态下振动信号频率和相应的能量分布的改变，可以预测动力传输部件可能出现的问题，将实际可能出现的损失降到最低。此外，为了更好的参与市场竞争，叶片振动监测系统采集装置还应对比同类竞品在性能先进性、软硬件稳定性、元器件成本、供应链稳定性等方面进行优化设计开发。因此为了满足各项技术要求叶片振动监测系统采集装置还将进行通信性能、信号采集性能等性能测试和软件长期运行稳定性测试。

2. 基本信息

2.1. 被测件版本

叶片振动监测系统采集装置 V1.0

2.2. 重要变化

无

2.3. 测试设备及仪器

名称	型号	数量	备注
波形发生器	UTG962E	1	
电源	220AC	1	
示波器	ZDS1104	1	100MHz
叶片振动监测系统采集装置		1	

2.4. 辅助材料

名称	型号	数量	备注
导线		若干	
镊子		1个	



TEST REPORT

版本 :

测试报告

A0

电烙铁		1 套	
各类常用 规格电阻电容		若干	
STLINK 下 载器		1 个	
USB 转 TTL 串口		1 个	

成都昆朋新能科技有限公司

Companiontek Technology (Chengdu) Co., Ltd.

3. 测试技术要求及原理

3.1. 技术要求

测试要求分别如下：

- 1) 与主控制器通信性能测试：
 - a. 满足与主控制器通信协议要求；
 - b. 通信速率 $\geq 10\text{MB/s}$ ；
 - c. 无故障运行时间 ≥ 168 小时。
- 2) 振动信号采集性能测试：
 - a. 采样率 $\geq 40\text{kSPS}$ ；
 - b. 幅值（正弦波）测量误差 $< 5\%$ ；
 - c. 频率（正弦波）测量误差 $< 3\%$ 。
- 3) 模拟量采样性能测试：
 - a. 测量范围：4-20mA，
 - b. 测量误差 $< 5\%$ 。
- 4) 温度测量测试：
 - a. 测量范围：-40~105℃
- 5) 倾角输入性能测试：
 - a. 通信速率 $\geq 1\text{Mbps}$ （线长 1m）
 - b. 满足倾角传感器通讯协议（Modbus RTU）
- 6) UART 通信性能测试
 - a. 通信速率 $\geq 1.5\text{Mbps}$ （线长 0.5m）；
 - b. 误码率小于 0.1%（线长 1m，波特率：115200bps）
- 7) 软件整体稳定性测试：
 - a. 软件无故障运行时间 ≥ 168 小时。

3.2. 测试原理

3.2.1. 与主控制器通信性能测试

叶片振动监测系统采集装置与主控制器之间进行数据传输采用 USB 进行通信。叶片振动监测系统采集装置带有全速和高速 USB 功能，其中全速 USB 理论速度可达 12Mbps，高速 USB 速度高达 480Mbps。主控制器采用 pyusb 模块实现程序通过 USB 接口读写 USB 设备。

由于采集装置支持的最大采用频率是 60KHz，分辨率是 24 位并同时采样 6 个通道，进行简单的计算可知每秒产生的数据量是： $60000 \times 6 \times 3 / 1024 = 1.05\text{MB}$ 。由此可知每秒产生的数据量比较大，为了保证传输速率，故采集器采用了高速 USB 模块进行数据传输。

由于硬件的实际性能会对 USB 传输的实际速率造成影响，为了保证使用高速 USB 进行数据传输满足设计需求，故需要对采集装置和主控制器之间的传输速率进行测试。测试原理是通过对采集装置写一个循环程序，不断发送数据，主控制器记录读取到的数据和时间，算出实际速率，为了保证测试的精确性再利用第三方软件 Bus Hound 对传输的数据进行抓包分析。

叶片振动监测系统采集装置与主控制器之间的通信协议按照实际传输数据内容进行设计

3.2.2. 振动信号采集性能测试

叶片振动监测系统采集装置使用 ADS1278 芯片同步采集 8 路振动信号。ADS1278 是 24 位, 8 通道同步采样模数数据采集系统 (DAS), 采用 5V 单电源供电, 可以处理 $\pm 10V$ 和 $\pm 5V$ 真双极性输入信号, 同时所有通道均能以高达 144Ksps 的吞吐速率采样。因此在理论上 ADS1278 足以满足采集装置所需的 60kSPS 采样率。

关于采样的精度则通过串口或 USB 将采样的数据传输至上位机, 通过上位机对数据进行分析得出相应的振动信号 (正弦波) 的频率和幅值。

3.2.3. 模拟量采样性能测试

采集器主控芯片带有 3 个 ADC 每个 ADC 有 16 个外部通道。ADC 即模拟数字转换器, 可以将外部的模拟信号转换为数字信号。因此采集装置可以通过 ADC 测量输入电流/电压。

3.2.4. 温度测量测试

温度测量使用 PT1000 热电阻加上高精度 ADC 采样电路组成。通过程序将采集器采集的温度数据打印在串口上, 与高精度测温枪采集的数据相比, 可对采集器的温度测量性能进行测试。

3.2.5. 倾角输入性能测试

倾角传感器通过 RS485 和采集器进行通信，二者之间的通信协议采用 Modbus 通讯协议 RTU 模式。采集器和倾角传感器直接的通信速率测试使用采集器通过 RS485 循环发送数据，用单片机定时器记录发送耗时得出传输速率。

3.2.6. UART 通信性能测试

通过 UART 循环发送数据，用单片机定时器记录发送耗时得出传输速率。后续比较发送和接收的数据是否一致得出 UART 的误码率。

3.2.7. 软件整体稳定性测试

长时间运行测试，通过定时器记录运行时间，通过串口打印出运行时间。

4. 测试结果

4.1. 与主控制器通信性能测试

4.1.1. 通信协议

叶片振动监测系统采集装置和主控制器之间采用 USB 进行通信，二者之间所需传输的数据仅有控制器向采集装置发送的开始/暂停采集指令和采样频率设置指令，此外采集装置只需向主控制器发送振动数据和转速数据。两者的通信协议设计如下：

表 4.1.1.1 主控制器控制采集装置通信指令

		名称	说明
数据结构	1	控制指令帧头	前四位同时为 1 才能代表主控制器向采集装置发送的控制指令
	1		
	1		
	1		
	0/1	数据采集控制	00：代表停止采集
	0/1	位	11：代表允许采集
	1/2/3/4/5/6	采样频率控制	11：代表采样频率为 10000Hz
	1/2/3/4/5/6		22：代表采样频率为 20000Hz 33：代表采样频率为 30000Hz

			44: 代表采样频率为 40000Hz
			55: 代表采样频率为 50000Hz
			66: 代表采样频率为 60000Hz

表 4.1.1.2 采集装置发送数据格式

		名称	说明
数据结构	0	通道 0 数据帧头	振动信号由 6 路 AD 同步采样, 此为第一路既通道 0 的数据
	0		
	0		
	0		
	.....	通道 0 数据	一共占 1024 个字节
		
	5	通道 5 数据帧头	振动信号由 6 路 AD 同步采样, 此为第一路既通道 5 的数据
	5		
	5		
	5		
	.....	通道 5 数据	一共占 1024 个字节
	6	断线检测 数据帧头	
6			
6			

	6		
	.....	断线检测数据	一共占 1024 个字节 (只有前 2 字节数据有效)
	7	温度检测 数据帧头	
	7		
	7		
	7		
	.....	温度数据	一共占 1024 个字节 (只有前 6 字节数据有效)

4.1.2. 通信速率测试

USB 传输速率和硬件性能有很大关系, 但是使用高速 USB 足以满足设计需求, 在采集装置中设计一个 USB 循环发送程序, 由上位机控制开始和停止发送时间, 并记录采集到的数据大小, 从而得出采集装置和主控制器之间的通信速率。

```
zhangpeng@zhangpeng-H310MHC2:~/桌面/新建文件夹/上位机/usb数据传输$ sudo python3 ./main.py
读取1MB数据
时间： 0.05514717102050781
速率： 18.13329644104728
zhangpeng@zhangpeng-H310MHC2:~/桌面/新建文件夹/上位机/usb数据传输$ sudo python3 ./main.py
读取1MB数据
时间： 0.05793285369873047
速率： 17.261362701038735
zhangpeng@zhangpeng-H310MHC2:~/桌面/新建文件夹/上位机/usb数据传输$ sudo python3 ./main.py
读取1MB数据
时间： 0.05597853660583496
速率： 17.863989675924547
zhangpeng@zhangpeng-H310MHC2:~/桌面/新建文件夹/上位机/usb数据传输$
```

图 4.1.2.1 采集装置和与主控制器通信速率

4.1.3. 测试结果

由 4.1.3 可知采集装置与主控制器之间的通信速率为 17MB/s, 技术要求采集装置与主控制器之间的通信速率大于 10MB/s。

故测试结果：符合技术要求。

4.2. 振动信号采集性能测试

4.2.1. 采样率

在采集装置中通过定时器中断设置采样频率。由公式 $T_{out} = \frac{PCS \times ARR}{T_{clk}}$ (T_{out} 定时器溢出时间; T_{clk} : 定时器输入时钟频率; PCS: 分频系数; ARR: 重装载值) 可知采集器定时器 2 主频在 $168/2=84\text{MHz}$, 故只需设置 $ARR=100$, $PCS=14$ 就可得到采样频率为 60KHz 的采样率。

4.2.2. 准确性

使用波形发生器向采集装置输入正弦波信号，采集装置通过 UART 或 USB 将采集的数据传输给上位机。在上位机上通过 MATLAB 编写程序对所收到的数据进行分析，得出幅值和频率并与波形发生器发送的标准值进行比较。

由图 4.2.2.1 可知波形发生器发送的信号为频率为 500Hz、幅度为 4.0Vpp 的正弦波信号。由图 4.2.2.3 可知采集装置采集的信号所描绘出的图形同样为正弦波，由图 4.2.2.2 可知输入信号幅度为 4.017，由图 4.2.2.4 可知输入信号频率为 500Hz。故，可得：

$$\text{幅值测量误差} = \frac{4.017 - 4}{4} \times 100\% = 0.425\% < 5\%$$

$$\text{频率测量误差} = \frac{500 - 500}{500} \times 100\% = 0\% < 5\%$$



图 4.2.2.1 波形发生器发送波形数据

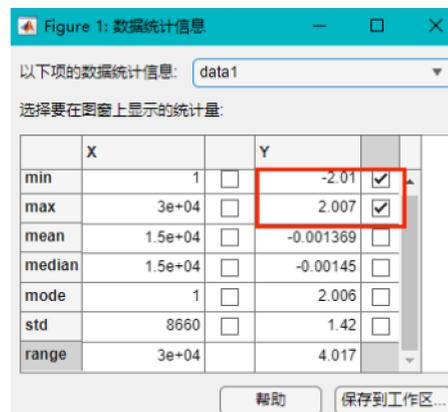


图 4.2.2.2 时域信号特征值

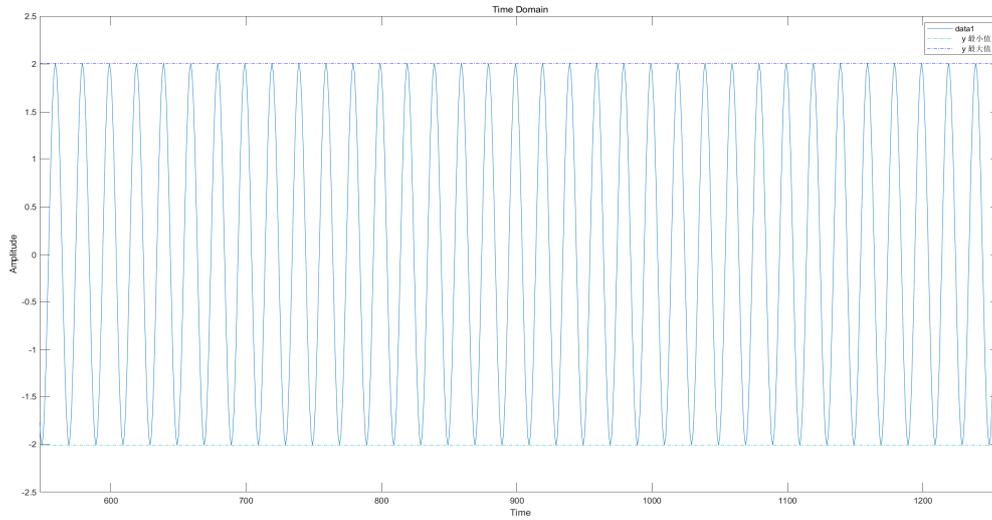


图 4.2.2.3 时域信号图

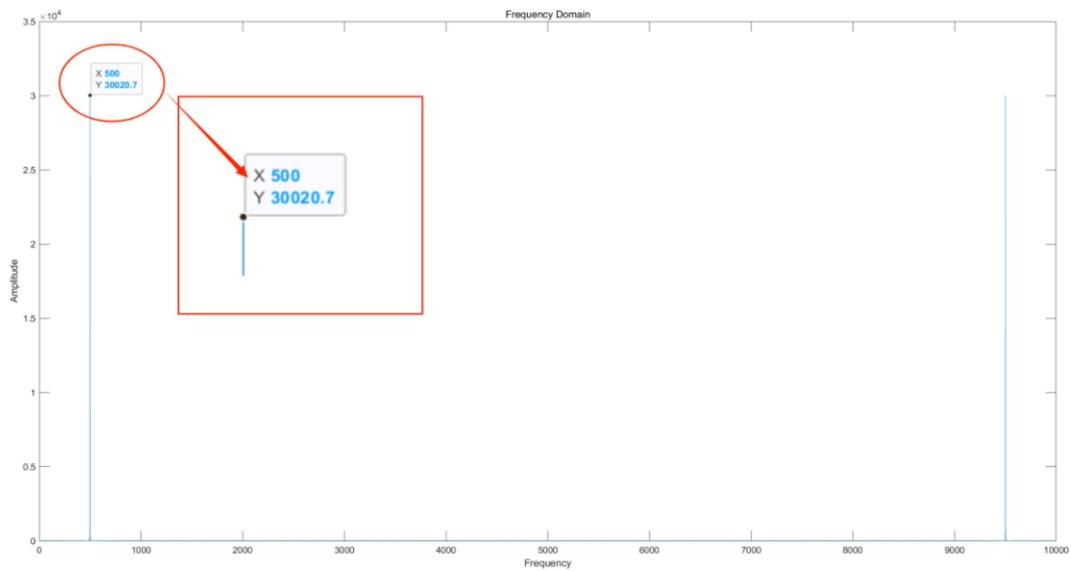


图 4.2.2.4 频域图

4.2.3. 测试结果

由上可知采集装置振动信号采集采样率为 40000KHz、时域测量误差为 0.425%、频域测量误差为 0%，均满足技术要求。

成都昆明新能科技有限公司

Companiontek Technology (Chengdu) Co., Ltd.

4.3. 模拟量采样性能测试

4.3.1. 准确性

模拟量采样性能测试主要通过 STM32F407 单片机的 ADC 功能将外部的模拟信号转换为数字信号。编写单片机程序使用 ADC 功能测量电流并与恒流源的电流值进行比较即可得到采集装置对于模拟量采样的准确性。由图 4.3.1.1 可知恒流源实际电流值为 4.84mA，由图 4.3.1.2 值采集装置测的电流值平均值为 4.87，故可得：

$$\text{模拟量测量误差} = \frac{4.87 - 4.84}{4.84} \times 100\% = 0.62\%$$



图 4.3.1.1 万用表所测电流值



图 4.3.1.2 采集装置所测电流值

4.3.2. 测试结果

由上可知，采集装置模拟量采样误差仅在 0.62%，因此采集装置模拟量采样的准确性满足技术要求。

4.4. 温度测量测试

4.4.1. 准确性

采集器将 PT1000 和 max31865 组成的温度采集电路采集的数据通过串口打印出来（如图 4.4.1.1 所示）。所得温度的平均值为 25.46°C。通过高精度测温枪所测得温度为 25.3°C（如图 4.4.1.2 所示）。二者误差在 0.6%左右。

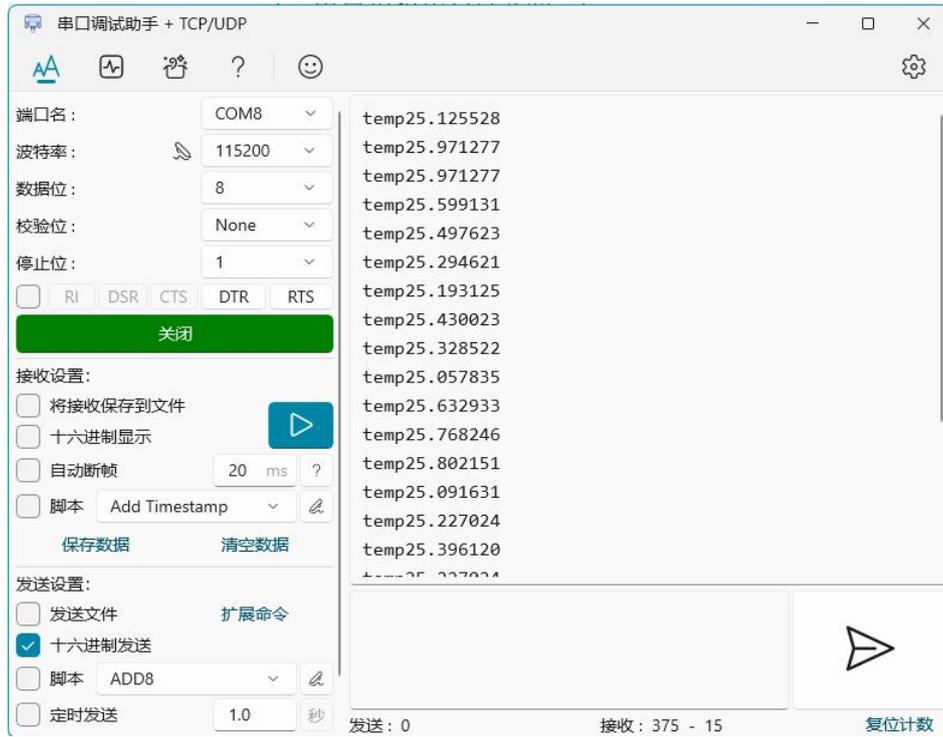


图 4.4.1.1 采集器测得温度值



图 4.4.1.2 测温枪所测温度值

4.4.2. 测试结果

由上可知，温度测量性能满足技术要求。

4.5. 倾角输入性能测试

4.5.1. 通信速率

采集器使用的 RS485 芯片是 NSI8305E，根据芯片手册可知，NSI8305E 最大传输速率是 16Mbps，满足倾角输入所需的最低速率。实际测试采集器使用 RS485 发送 1KB 数据，通过定时器获取发送前后时间，在利用串口将实际时间和速率发送给上位机。

倾角输入性能测试要求通信速率大于 1Mbps，即 1048576bps，故将采集器 RS485 波特率设为 2000000，通过程序验证通信速率是否大于 1Mbps。由下图 4.5.1.1 可知倾角输入通信速率为 1.5Mbps，满足技术要求的 1Mbps。



图 4.5.1.1 采集器和倾角传感器通信速率

4.5.2. 传输协议

采集器和倾角传感器之间的传输协议使用 Modbus 协议中的 RTU 传输模式，在 Modbus RTU 模式下，数据帧由一系列连续的比特构成，每个比特都以特定的时间间隔传输。下面是一个 Modbus RTU 数据帧的结构：

起始位 (Start Bit)：一个低电平位，用于表示数据帧的开始。

地址位 (Address Byte)：一个包含设备地址的 8 位数据字节。它用于唯一识别每个从站设备。最高位表示广播地址，用于发送广播命令。

功能码 (Function Code)：一个 8 位数据字节，用于指示执行的具体操作。不同功能码代表不同的操作，例如读取寄存器、写入寄存器等等。

数据位 (Data Bytes)：包含命令数据或响应数据的 8 位数据字节序列。根据具体功能码和操作，可以有零个或多个数据字节。

循环冗余校验 (CRC)：一个 16 位的循环冗余校验码，用于检测数据的完整性和准确性。

停止位 (Stop Bit)：一个或多个高电平位，用于表示数据帧的结束。

4.5.3. 测试结果

由上可知采集装置与倾角传感器之间的通信速率为 1.5Mbps、通信协议使用 Modbus 协议，满足采集装置倾角输入性能技术要求。

4.6. UART 通信性能测试

4.6.1. 通信速率

采集器串口通信芯片使用的是 CH340，根据芯片手册可知 CH340 最高传输速率是 2Mbps，理论上满足 UART 通信所要求的 1.5Mbps。2Mbps 转换为波特率为 2097152，故采集器使用 2000000 波特率测试 UART 通信速率。由下图 4.6.1 可知 UART 通信速率为 1.52Mbps，故满足 UART 通信性能要求的 1Mbps 的通信速率。



图 4.6.1.1 UART 通信速率

4.6.2. 准确性

串口的准确性通过采集系统使用串口发送前后的数据对比进行判断，首先使用脚步随机生成 1000 个数据，作为原始发送数据，将这些数据填充在采集装置发送数组中，并通过串口发送出来。在上位机上通过串口助手接收发送的数据并保存在文件中命名为《串口输出数据记录》。之后使用电脑自带命令窗口进行比较，如图 4.6.2.1 所示。

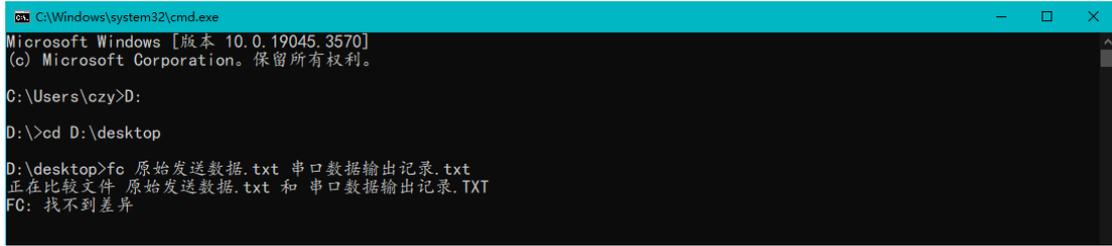


图 4.6.2.1 串口输出数据和原始数据比较

4.6.3. 测试结果

由上可知，采集装置 UART 通信速率可达 1.5Mbps，线长 1m、波特率为 115200 时无丢包现象，故采集装置 UART 通信性能满足技术要求。

4.7. 软件整体稳定性测试

4.7.1. 测试结果

采集器在正常工作时使用定时器进行计时，每隔 1 小时就使用串口发送运行时间，这样能够保证计时的连续性和准确性。如图 4.7.1 所示可知，采集器能够连续运行 168 小时以上。满足技术要求。

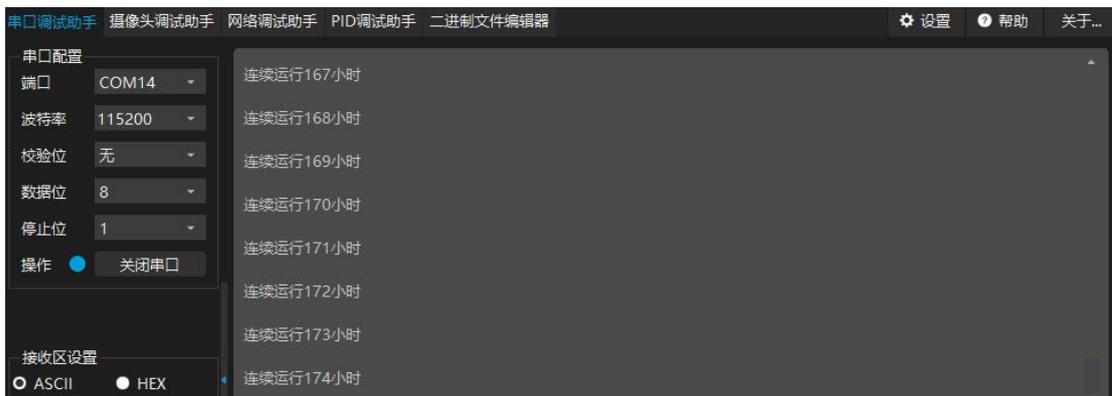


图 4.7.1 采集器运行时间



5. 测试人员签字

测试人员:	
项目负责人:	